异色瓢虫对白毛蚜捕食作用的研究*

李照会　郑方强　叶保华　齐登珠　李爱民
(山东农业大学植保系，泰安　271018)

摘要　试验研究了异色瓢虫 *Leis axyridis* (Pallas) 各龄幼虫和成虫对白毛蚜 *Chaitophorus populialbae* 无翅成蚜的捕食功能反应及其成虫的寻找效应。功能反应均属 Holling II 型。异色瓢虫成虫寻找效应和自身密度之间的关系用 Hassell & Varley (1969) 模型 $E = QP^{-m}$ 和 Beddington (1975) 模型 $E = aT/[1 + bt_w(P-1)]$ 进行了模拟，Beddington 模型更好地反映寻找效应和瓢虫密度之间的关系。寻找效应与瓢虫成虫自身密度和蚜虫密度之间的关系用 Beddington (1975) 模型 $E = aT/[1 + at_hN + bt_w(P-1)]$ 进行描述，表明寻找效应(E)随瓢虫密度(P)和猎物蚜虫密度(N)的增大而下降。

关键词　异色瓢虫　白毛蚜　功能反应　寻找效应

异色瓢虫 *Leis axyridis* (Pallas) 是蚜虫的重要捕食性天敌，在自然条件下，发生数量较大，且能侵入各种环境如农田、园林及森林，对环境适应力较强，控制蚜虫作用明显。我们在研究白毛蚜 *Chaitophorus populialbae* (Boyer et Fonscolombe) 发生规律及防治时，发现异色瓢虫在毛白杨上发生数量较大，对白毛蚜种群数量控制作用较强。为此，在室内研究了异色瓢虫-白毛蚜这一捕食者-猎物系统的捕食作用，以期为利用异色瓢虫控制蚜虫提供科学依据。

材 料 与 方 法

一、异色瓢虫各龄幼虫及成虫对白毛蚜无翅成蚜的功能反应测定

在大培养皿 ($\Phi = 9.8$cm, $h = 1.8$cm) 内进行，皿底铺以湿润的吸水纸，每皿置 1 头异色瓢虫 1—4 龄幼虫或成虫(试验前均先饥饿半天)，猎物蚜虫采自毛白杨树，蚜虫密度处理 6 组，每组 5 次重复，24小时后检查猎物被捕食量。猎物密度为：1 龄幼虫 4、6、8、10、12、14 头蚜虫；2 龄幼虫 8、12、16、20、24、28 头蚜虫；3 龄幼虫 12、18、24、30、36、42 头蚜虫；4 龄幼虫 32、48、64、80、96、112 头蚜虫；成虫 40、60、80、100、120、140 头蚜虫。

二、异色瓢虫成虫寻找效应的测定

在大培养皿 ($\Phi = 9.8$cm, $h = 1.8$cm) 中放白毛蚜无翅成蚜 200 头及不同密度的瓢虫(试验前先饥饿半天)，瓢虫密度分别为 1、2、4、8、12、16 头，共 6 组，每组重复 4 次，24 小时后检查蚜虫被食量，并计算其寻找效应。

实验均在室温平均 25—26℃，相对湿度平均 80% 条件下进行的。

结 果 与 分 析

一、异色瓢虫对白毛蚜无翅成蚜的功能反应

本文于 1991 年 3 月收到。
* 本文承蒙山东农业大学牟吉元教授审阅，甚表感谢！

功能反应是指 1 头捕食者当猎物密度变化时它所捕食猎物数量的变化。它是测定捕食者捕食潜能较为理想的方法。异色瓢虫对白毛蚜的捕食量见表 1。

将表 1 中试验结果绘成散点图，见图 1。

表 1　异色瓢虫在不同猎物密度下的捕食量

1 龄幼虫	猎物密度 (N)	4	6	8	10	12	14
	捕食量 (N_a)	2	4	4.5	4.6	4.4	4.6
2 龄幼虫	猎物密度 (N)	8	12	16	20	24	28
	捕食量 (N_a)	5	7.5	8.5	11.8	13.1	13
3 龄幼虫	猎物密度 (N)	12	18	24	30	36	42
	捕食量 (N_a)	8.4	11.6	14.8	19.2	20.6	20.8
4 龄幼虫	猎物密度 (N)	32	48	64	80	96	112
	捕食量 (N_a)	26.6	30	40	43	58.8	60
成虫	猎物密度 (N)	40	60	80	100	120	140
	捕食量 (N_a)	33.4	37	43.5	68.4	66.2	79.4

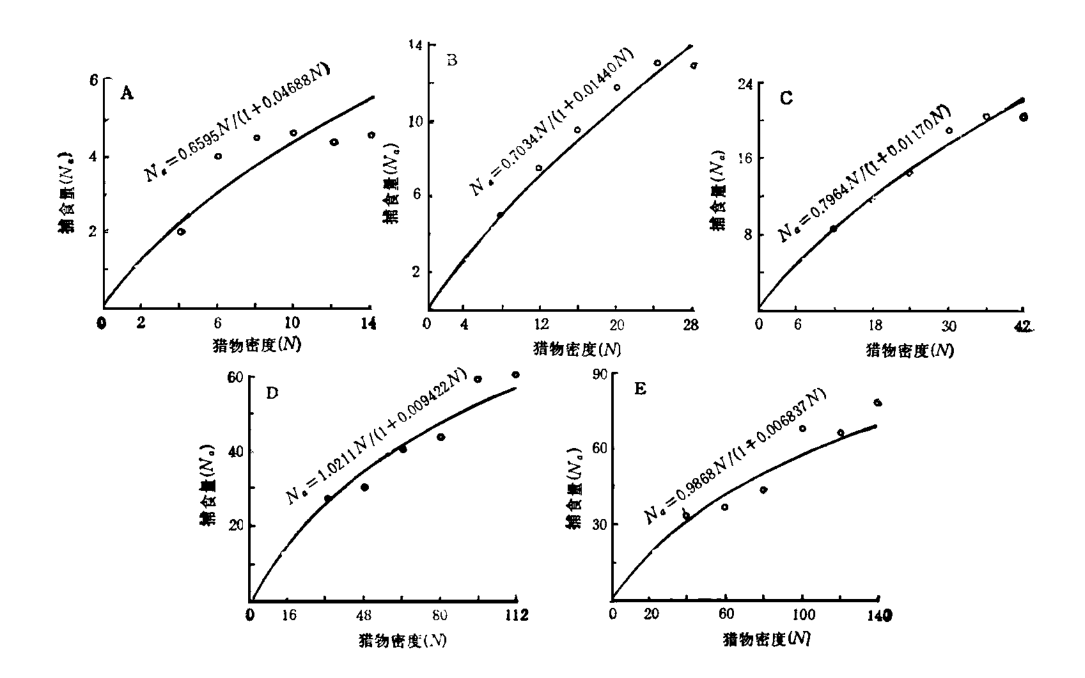


图 1　异色瓢虫 1—4 龄幼虫及成虫对白毛蚜无翅成蚜的功能反应

异色瓢虫的捕食量与白毛蚜密度呈逆密度制约关系(图 1),其功能反应属 Holling II 型,故以 Holling 圆盘方程来拟合实验数据(表 2)(Holling, 1959a)。功能反应模拟曲线见图 1。

表 2 异色瓢虫对白毛蚜无翅成蚜的功能反应

虫态、虫龄	功能反应线性方程	相关系数 (r)	圆盘方程	卡方值 (ΣX)	瞬间攻击率 (a')	处理时间 (T_h)	日最大捕食量 (N_{amax})
1 龄幼虫	$\frac{1}{N_a}=1.5164\frac{1}{N}+0.07109$	0.9015*	$N_a=\frac{0.6595N}{1+0.04688N}$	0.674	0.6595	0.07109	14.1
2 龄幼虫	$\frac{1}{N_a}=1.4216\frac{1}{N}+0.02047$	0.9915**	$N_a=\frac{0.7034N}{1+0.01440N}$	0.23	0.7034	0.02047	48.9
3 龄幼虫	$\frac{1}{N_a}=1.2557\frac{1}{N}+0.01469$	0.9953**	$N_a=\frac{0.7964N}{1+0.01170N}$	0.25	0.7964	0.01469	68.1
4 龄幼虫	$\frac{1}{N_a}=0.9793\frac{1}{N}+0.009227$	0.9583**	$N_a=\frac{1.0211N}{1+0.009422N}$	2.18	1.0211	0.009227	108.4
成 虫	$\frac{1}{N_a}=1.0134\frac{1}{N}+0.006928$	0.9833**	$N_a=\frac{0.9868N}{1+0.006837N}$	4.64	0.9868	0.006928	144.3

从表 2 中看出,异色瓢虫幼虫随着虫龄的增大,瞬间攻击率(a')随之增大,处理时间(T_h)随之缩短,最大捕食量(N_{amax})依次增大,说明较大虫龄的幼虫搜寻的快,捕食成功的机会较大。而成虫的处理时间短于 4 龄幼虫,故最大捕食量也明显大于 4 龄幼虫,这可能是与幼虫过渡到成虫体内物质大量消耗而加快捕食有关。

二、异色瓢虫成虫的寻找效应

寻找效应是捕食性天敌或寄生性天敌在捕食或寄生过程中,对于寄主攻击的一种行为效应。天敌对寄主作用的大小与其本身的寻找力有关。寻找效应的高低决定于猎物密度和捕食者密度。定义为: $E=N_a/N\cdot P$。

E 为寻找效应,N_a 为被攻击的猎物数,N 为猎物密度,P 为捕食者密度。

不同密度异色瓢虫成虫对白毛蚜的寻找效应见表 3。

表 3 异色瓢虫成虫对白毛蚜的寻找效应

瓢虫密度 (E)	1	2	4	8	12	16
寻找效应 (P)	0.37	0.2975	0.195	0.12	0.08208	0.06125

1. 据 Hassell & Varley (1969) 提出的干扰模型估计寻找效应(E)

Hassell & Varley 提出寻找效应(E)和捕食者密度(P)的关系为:

$$E=QP^{-m} \text{ 或 } \log E=\log Q-m\log P$$

其中 Q 为探索常数,表示捕食效应的水平即 $P=1$ 时寻找效应的测度;m 为相互干扰常数,衡量捕食者之间的干扰程度。二者均反映捕食者种的特点。

据表 2 的 E、P 值,经拟合求得:

$$\log E=-0.3679-0.6555\log P \quad (r=-0.9864^{**})$$

$$Q=0.4286 \quad m=0.6555 \quad \text{所以} \quad E=0.4286P^{-0.6555}$$

寻找效应(E)和瓢虫密度(P)之间的关系见图 2 实线所示。

图 2 可见，寻找效应随着瓢虫密度的增大而呈指数减小。从 m 值(0.6555)看，异色瓢虫成虫在限定的空间内存在较强的干扰，由于干扰，造成寻找时间延长，导致寻找效应下降。

图 2　异色瓢虫成虫寻找效应(E)与自身密度(P)之间的关系
——$E = 0.4286P^{-0.6555}$
……$E = 0.4108/(0.6288 + 0.3712P)$

2. 根据 Beddington (1975) 提出的寻找效应和捕食者密度关系模型估计寻找效应。

在假定处理时间为零时（事实上处理时间很小），Beddington (1975) 推导出寻找效应与捕食者密度之间的关系为 $E = aT/[1 + bt_w(P-1)]$。

其中 a 为干扰下的攻击率，T 为试验时间(这里 $T = 1$)，b 为捕食者之间的相遇率，t_w 为每个捕食者一次相遇消耗的时间，这里 $b \cdot t_w$ 作为一整体不可分，P 为捕食者密度。

将上述关系式线性化，得：

$$\frac{1}{E} = \frac{1 - bt_w}{a} + \frac{bt_w}{a} \cdot P$$

令 $A = \dfrac{1 - bt_w}{a}$　$B = \dfrac{bt_w}{a}$ 经拟合得线性方程：

$$\frac{1}{E} = 1.5306 + 0.9035P \quad (r = 0.9986^{**})$$

由 A、B 求得 $a = 0.4108$，$bt_w = 0.3712$

寻找效应(E)和异色瓢虫自身密度(P)之间的关系模型为：

E-P 关系如图 2 虚线，可以看出 E 随着 P 的增大而减小，这与 $E = QP^{-m}$ 曲线较为接近。但从寻找效应散点图分布看，寻找效应实测值更接近 $E = aT/[1 + bt_w(P-1)]$ 曲线，说明 Beddington 模型能更好地描述异色瓢虫成虫寻找效应与自身密度之间的关系。

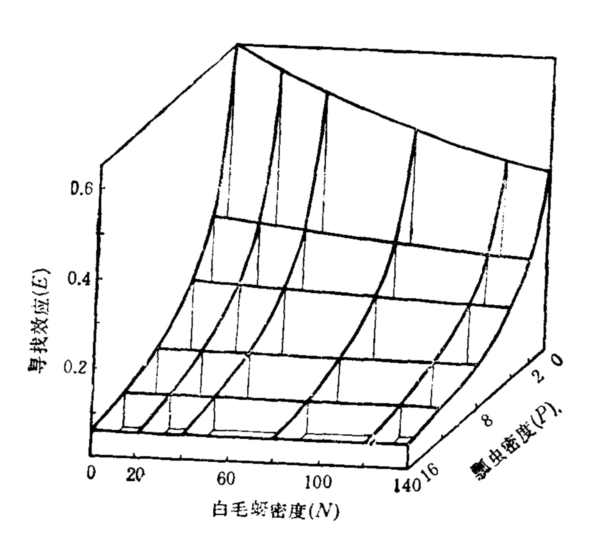


图 3　异色瓢虫成虫寻找效应(E)与自身密度(P)和猎物白毛蚜密度(N)之间的关系

3. 寻找效应(E)与瓢虫自身密度(P)和猎物蚜虫密度(N)之间的关系

Beddington (1975)提出，在考虑处

理时间 (t_h)(即每个捕食者用于处理猎物而消耗的时间,可从 Holling 圆盘方程中获得)的情况下,捕食者用于捕食猎物的总时间为搜寻时间 (T_s)、处理时间 ($T_h = at_hNT_s$) 和相遇时间 [$T_p = bt_w(P-1)$]。便推导出寻找效应与猎物密度和捕食者密度之间的关系为: $E = aT/[1 + at_hN + bt_w(P-1)]$。

根据已求得的参数 a、bt_w 和 t_h (从圆盘方程得来),代入上述模型,得:

$$E = 0.4108/(0.6288 + 0.002846N + 0.3712P)$$

即为异色瓢虫成虫寻找效应与瓢虫密度和白毛蚜密度之间的关系,三者之间的关系见图 3。

从图 3 看出,寻找效应随着瓢虫密度和蚜虫密度的增大呈双曲面下降,当瓢虫密度大于 8 头后,寻找效应的下降趋于平缓。这一模型从猎物密度和捕食者密度两方面出发,较实际地探讨了对寻找效应的影响。当猎物密度增大时,捕食者总的处理时间会加长,则导致寻找效应不会太高,而当捕食者密度增大时,则由于干扰频繁而限制了寻找效应增大。

小 结 与 讨 论

1. 异色瓢虫 1—4 龄幼虫及成虫对白毛蚜无翅成蚜的功能反应均属 Holling II 型。

2. 本试验用 Hassell & Varley (1969) 和 Beddington (1975) 两种模型估计了异色瓢虫成虫不同密度下的寻找效应,从寻找效应实测值散点图分布看,利用 $E = aT/[1 + bt_w(P-1)]$ 估计寻找效应较 $E = QP^{-m}$ 准确(至于是否所有实例皆如此,有待多个实例来验证)。因为 Beddington 模型较具体地研究了捕食者在干扰下的行为机制,如干扰下的攻击率、捕食者之间相互干扰消耗的时间和相遇率,而 $E = QP^{-m}$ 则缺乏这一点,但这一模型也有其优点,估计参数很简单,据干扰常数 m 判断捕食者与猎物系统的稳定性。$E = QP^{-m}$ 只有在 $\log E$ 和 $\log P$ 之间关系为线性时才使用,因为在某些情况下 $\log E$ 和 $\log P$ 之间关系不为线性而为曲线关系,此时则不能使用这一模型 (D. J. Rogers 和 M. P. Hassell, 1974), 但能使用 Beddington 提出的 $E = aT/[1 + bt_w(P-1)]$ 模型 (Beddington, 1975), 并且在这一模型中,当 bt_w 值较小时 $\log E$ 和 $\log P$ 的关系为曲线,而当 bt_w 值较大时(即干扰程度较强时)为直线关系 (D. J. Rogers 和 M. P. Hassell, 1974; Beddington, 1975)。因此 Beddington 模型具有代表性及普遍性,而且估计参数也较简单。

3. 试验测得的寻找效应当异色瓢虫成虫密度 (P) 为 1 时是 0.37, 这一数值并不太高,这很可能与该瓢虫对白毛蚜虫龄(态)的捕食选择性有关,本试验没有从捕食选择性这方面去探讨对寻找效应的影响。

4. 试验是在限定的空间进行的,所测数据与自然情况相差可能较大,但能为利用异色瓢虫提供必要的信息。

参 考 文 献

丁岩钦 1980 昆虫种群数学生态学原理与应用。科学出版社。
丁岩钦等 1986 中华草蛉对棉铃虫与棉蚜的捕食作用研究。生物防治通报 2(3): 97—102。
李超等 1982 草间小黑蛛对棉铃虫幼虫的捕食作用及模拟模型的研究: I. 捕食者——单种猎物系统的研究。生态

学报 2(3)：239—54。
李祖荫等译　1981　(G. C. 瓦利等著)昆虫种群生态学分析方法。科学出版社。
赵志模等　1984　生态学引论。科学技术文献出版社重庆分社。
陆自强　1989　长突毛瓢虫的研究。生物防治通报 5(4)：157—60。
Beddington, J. R. 1975 Mutual interference between parasites or predators and its effect on searching efficiency. *J. Ani. Eco.* 44: 331—40.
Hassell, M.P. 1971 Mutual interference between searching insect parasites. *J. Ani. Eco.* 40:473—86.
Hassell, M.P. and R.M. Way 1973 Stablity in insect host-parasite models. *J. Ani. Eco.* 42: 693—726.
Holling, C.S. 1959a Some characteristics of simple types of predation and parasitism. *Can. Entomol.* 91:385—98.
Holling, C.S. 1969 Principle of insects predation. *Ann. Rev. Entomol.* 6: 163—82.
Holling, C.S. 1966 The functional response of invertebrates predators to prey density. *Mem. Ent. Soc. Can.* 48: 5—15.
Rogers, D.J. & Hassell, M.P. 1974 General models for insect parasites and predators searching behavior: Interference. *J. Ani. Eco.* 43: 239—53.

PREDATION OF *LEIS AXYRIDIS* ON *CHAITOPHORUS POPULIALBAE*

LI ZHAO-HUI　ZHENG FANG-QIANG　YIE BAO-HUA

QI DENG-ZHU　LI AI-MIN

(*Department of Plant Protection, Shandong Agricultural University, Taian* 271018)

Laboratory studies show that the functional responses of 1—4 instar larvae and adult of *Leis axyridis* to wingless adult aphids *Chaitophorus populialbae* belong to Holling II type. The relationship between searching efficiency (E) and the adult ladybird density (P) is described by Hassell & Varley's model $E = QP^{-m}$ and Beddington's model $E = aT/[1 + bt_w(P - 1)]$ as $E = 0.4286P^{-0.6555}$ and $E = 0.4108/(0.6288 + 0.3712P)$, respectively. Both models demonstrate that the searching efficiency declines with increase of the ladybird density, but Beddington's model can describe the relationship better than Hassell & Varley's model. The relationship between searching efficiency (E) and the prey density (N) and the adult ladybird density (P) is described by Beddington's model $E = aT/[1 + at_hN + bt_w(P - 1)]$ as $E = 0.4108/(0.6288 + 0.002846N + 0.3712P)$, i.e. the searching efficiency declines when the adult ladybird and the prey densities increase.

Key words　*Leis axyridis*——*Chaitophorus populialbae*——functional response——searching efficiency